Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. A. Liechti
und dem Physiologischen Institut (Hallerianum) der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. A. von Muralt

Arbeit unter Leitung von Dr. W. Wilbrandt

Fortgesetzte Untersuchungen über das Zustandekommen der Röntgen-Hämolyse

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines Doctors medicinae dentium
der Universität Bern

vorgelegt von
IMOBERDORF HANS
aus Brig

1942

Druck- und Verlagsanstalt Calendaria A.G., Immensee

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547623_0066

Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. A. Liechti
und dem Physiologischen Institut (Hallerianum) der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. A. von Muralt

Arbeit unter Leitung von Dr. W. Wilbrandt

Fortgesetzte Untersuchungen über das Zustandekommen der Röntgen-Hämolyse

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines Doctors medicinae dentium
der Universität Bern

vorgelegt von
IMOBERDORF HANS
aus Brig

1942

Druck- und Verlagsanstalt Calendaria A.G., Immensee

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. A. Liechti von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 4. März 1942.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
Prof. Dr. A. von Muralt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung

Bestrahlung von Blut mit hohen Dosen von Röntgenstrahlen führt zu Hämolyse (Hausmann, Holthusen, Lehmann, Wels). Das Zustandekommen dieser Hämolyse ist in zwei frühern Arbeiten untersucht worden. Die vorliegende Arbeit bildet eine Fortführung dieser Untersuchungen. K. Burgener ging bei seiner Arbeit von der Frage aus, ob die Wirkung der Röntgenstrahlen, wie von A. Liechti angenommen, vielleicht auf einer primären Aenderung der Zellpermeabilität beruhe. Er konnte zeigen, daß die Röntgenhämolyse eine osmotische Hämolyse ist, die dadurch zustande kommt, daß die Zellen ihre normale Undurchlässigkeit für Kationen verlieren, worauf Salz in die Zellen eintritt und eine osmotische Schwellung auslöst, die bis zur Hämolyse führen kann. Der Nachweis dieses Mechanismus erfolgte durch eine Analyse der Form der osmotischen Resistenzkurven während der Entwicklung der Hämolyse. Burgener fand ferner in Bestätigung einer Beobachtung von Holthusen, daß die Geschwindigkeit der Röntgenhämolyse in sehr ausgesprochener Weise davon abhängt, in was für einer Salzlösung die Blutzellen suspendiert sind.

M. Kalbermatten nahm diese Beobachtung wieder auf und konnte zeigen, daß die Wirkung der Salze im wesentlichen nicht auf die Bestrahlungszeit zu beziehen ist, sondern auf die viele Stunden dauernde Nachperiode. Bestrahlt man Vollblut und verteilt es erst nach der Bestrahlung auf verschiedene Salzlösungen, so erhält man dieselben charakteristischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Salzen, wie wenn das Blut in den betreffenden Salzlösungen bestrahlt worden wäre. Weiter untersuchte Kalbermatten die Frage, ob die Permeabilitätsänderung auf einer Umladung der Zellmembran beruht, durch Bestimmung der Geschwindigkeit des Anionenaustausches durch die Membran. Er fand die Austauschgeschwindigkeit bei bestrahltem Blut unverändert und schloß daraus, daß eine Umladung der Membran vermutlich nicht vorliegt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich weiter mit den Bedingungen, die das Zustandekommen der Röntgenhämolyse beeinflussen. Der Zweck der ausgeführten Versuche ist einmal die Feststellung, unter welchen Versuchsbedingungen man eine maximale Wirkung der Röntgenstrahlen zu erwarten hat. Dabei ergaben sich jedoch weiterhin einige Beobachtungen, die für das Verständnis

der Strahlenwirkung von Nutzen sein können. Weiterhin sollte geprüft werden, warum die von uns beobachteten Hämolysen nach Röntgenbestrahlung quantitativ beträchtlich hinter den Ergebnissen zurückstehen, die von Holthusen veröffentlicht worden sind. Die Untersuchungen, die zu diesem Zweck angestellt wurden, betreffen den Einfluß des pH, der Temperatur, der Kationen und Anionen auf die Bestrahlungswirkung und die Empfindlichkeit des Blutes verschiedener Tierarten. Schließlich sollte die minimale Strahlendosis festgestellt werden, nach der eine Ionenpermeabilitätsänderung mit der hier verwendeten Methodik gerade noch festgestellt werden kann.

Methodik

Die angewendete Methodik war dieselbe, wie in den Arbeiten von Burgener und Kalbermatten, wo sie ausführlicher beschrieben worden ist. Es wurde immer defibriniertes Blut verwendet, meistens Menschenblut, das 1—3 Tage im Eisschrank aufbewahrt wurde. Die angewendete Strahlenintensität war etwa 4000 r pro Minute. Die Bestrahlungszeiten sind jeweils bei den einzelnen Versuchen angegeben. Die Bestrahlung erfolgte wie bei Kalbermatten am Vollblut, das erst nach der Bestrahlung im Verhältnis 1 : 10 in Salzlösungen suspendiert wurde. Die osmotischen Resistenzreihen wurden mit je 0,4 cc dieser Suspensionen in 5 cc Kochsalzlösung (phosphatgepuffert auf pH 6,8) angesetzt. Die Aufnahme der Resistenzkurven erfolgte photoelektrisch, wie in den frühern Arbeiten.

1. Der Einfluß der Kationen

Suspendiert man bestrahltes Blut in isotonischen Lösungen von Kaliumchlorid, Natriumchlorid und Lithiumchlorid, so erhält man die in Abb. 1 wiedergegebenen Schwellungskurven. Die Schwel-

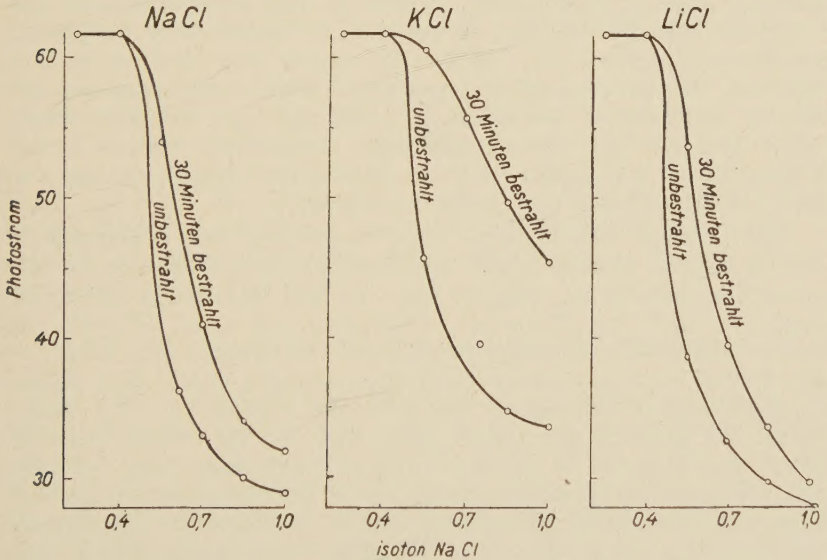

Abb. 1: Röntgenhämolyse in verschiedenen Salzlösungen. Menschenblut, Resistenz 29 Stunden nach Bestrahlung. Nachperiode bei 22°, Bestrahlungszeit 0′ und 30′.

lungsgeschwindigkeit ist am größten in Kaliumlösung, kleiner in Natrium- und am kleinsten in Lithiumlösung. Bezüglich Kalium und Natrium geht diese Beziehung schon aus den Beobachtungen von Kalbermatten hervor. Es handelt sich hier höchstwahrscheinlich um einen Einfluß der Geschwindigkeit, mit der die verschiedenen Kationen in die Zellen eindringen. Die Reihenfolge der Ionen ist die gleiche wie bei der freien Ionenwanderungsgeschwindigkeit, und stimmt auch überein mit der Geschwindigkeit, mit der die Ionen in andere lebende Zellen oder durch künstliche Membranen diffundieren. Sie ist bestimmt durch die Größe der Ionen, die infolge verschiedener Hydratation vom Lithium über Natrium zum Kalium abnimmt. Die Uebereinstimmung der Hämolysegeschwindigkeit mit der Diffusionsgeschwindigkeit der Ionen darf als eine weitere Bestätigung für den osmotischen Mechanismus der Hämolyse betrachtet werden.

2. *Der Einfluß des pH*

Um den Einfluß des pH auf die Röntgenhämolyse zu untersuchen, wurde das bestrahlte Blut in isotonischen Phosphatlösungen suspendiert, die durch Mischung von Phosphorsäure und Kalilauge bzw. Natronlauge in geeigneten Verhältnissen hergestellt wurden. Auf diese Weise wurden Lösungen hoher Pufferkapazität erhalten, die vorwiegend aus primärem oder vorwiegend aus sekundärem Phosphat bestanden. Die Lösungen des primären Phosphats (pH 5,9, mit der Glaselektrode gemessen) wurden in der Konzentration 0,16 molar, die des sekundären Phosphats (pH 7,8) in der Konzentration 0,16 molar verwendet.

Abb. 2 zeigt das Ergebnis dieser Versuche. Zum Vergleich ist eine Kontrolle mitabgebildet, bei der das bestrahlte Blut in Natriumchloridlösung suspendiert war. Aus der Abbildung ergibt sich zunächst, daß das Phosphat, verglichen mit dem Chlorid, die Schwellungsgeschwindigkeit beträchtlich herabsetzt. Der Vergleich der beiden Phosphatsuspensionen untereinander ergibt eine höhere Schwellungsgeschwindigkeit bei alkalischer Reaktion. Der Unterschied ist deutlich, aber nicht sehr groß. Er ist jedoch vielleicht etwas herabgesetzt durch die Tatsache, daß außer der Wirkung des pH eine andere entgegengesetzte in Betracht kommt: die Lösung des sekundären Phosphates enthält zweiwertige Anionen, die des primären einwertige. Aus Versuchen von Kalbermatten geht nun hervor, daß das zweiwertige Anion Sulfat die Entwicklung der Kationenpermeabilität hemmt. Vermutlich wird auch das zweiwer-

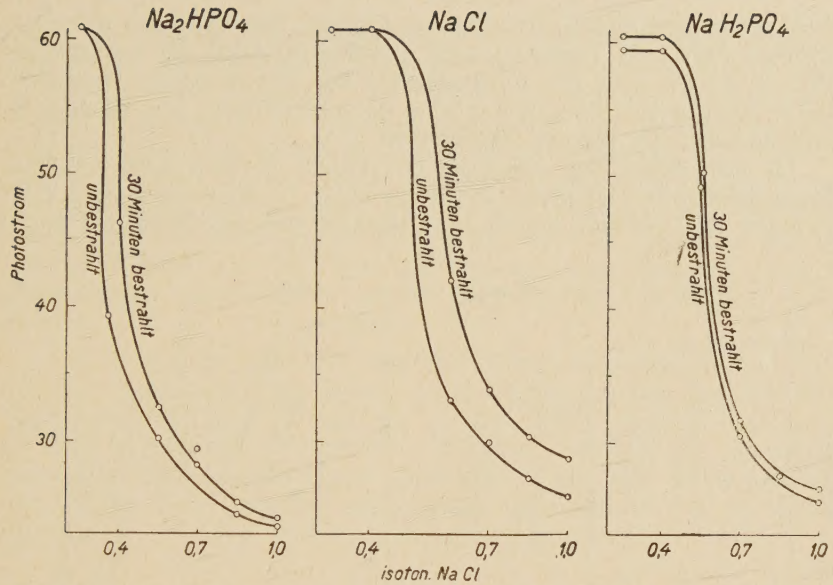

Abb. 2: Röntgenhämolyse bei verschiedenen pH. Menschenblut frisch, Resistenz 24 Stunden nach Bestrahlung. Nachperiode bei 20°. Bestrahlungszeit 0', 30'.

tige Phosphat eine solche Hemmung ausüben, so daß anzunehmen ist, daß die Wirkung des pH an sich stärker ist als man aus der Abb. 2 schließen würde. Weitere Versuche mit Lösungen gleicher Anionenzusammensetzung, aber verschiedenen pH's, müssen diese Frage abklären. Mit Kaliumphosphatlösung wurden prinzipiell dieselben Ergebnisse erhalten wie mit Natrimphosphat, nur war hier die Schwellungsgeschwindigkeit in allen Lösungen stärker als bei Verwendung der Natrimsalze.

3. Die Empfindlichkeit verschiedener Blutarten

Die Empfindlichkeit der Erythrozyten gegenüber verschiedenen hämolytisch wirkenden Agenzien ist in sehr ausgesprochener Weise von der Tierart abhängig. Schon im Jahre 1907 hat Rywosch gezeigt, daß große Artunterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber Saponin bestehen, und daß die Reihenfolge der Sensibilität nicht dieselbe ist wie diejenige gegenüber der Hämolyse durch Hypotonie. Während er glaubte, daß die beiden Reihen einander entgegengesetzt sind, konnte eine spätere Untersuchung von Ponder

1930 diese Gesetzmäßigkeit bei Ausdehnung der Versuche auf eine größere Zahl von Tierarten nicht bestätigen. Auch die osmotische Hämolyse, die von der Permeabilität der Erythrozyten bestimmt wird, zeigt außerordentlich starke Artunterschiede, wie besonders von Jacobs 1931 gezeigt worden ist.

Es war daher von Interesse zu prüfen, ob sich auch bei der Röntgenhämolyse ähnliche Artunterschiede nachweisen lassen. Die Prüfung dieser Frage wurde auch deshalb vorgenommen, um fest-

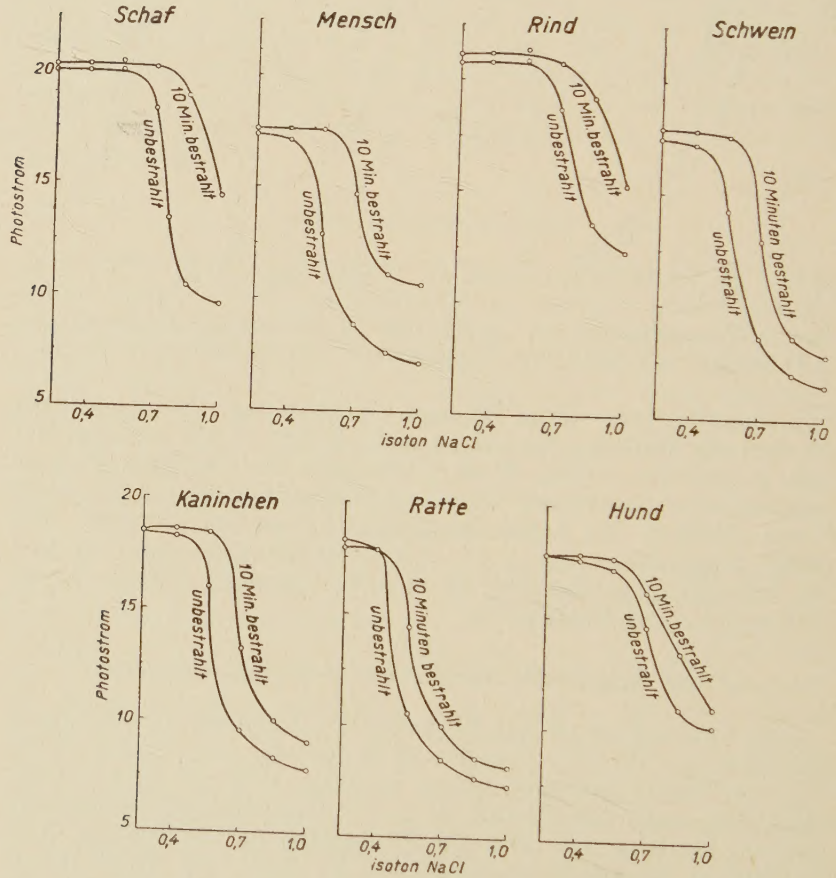

Abb. 3: Empfindlichkeit verschiedener Blutarten gegenüber Röntgenbestrahlung. Resistenz 25 Stunden nach Bestrahlung. Bestrahlungszeit 0' und 10'.

zustellen, welche Blutart sich für Versuche über Röntgenhämolyse am besten eignet. Abb. 3 zeigt das Ergebnis von Versuchen mit 6 verschiedenen Blutarten. Die Form der Hämolyse ist nach den wiedergegebenen Kurven überall osmotisch, die Grenzkonzentration der Hämolyse verschiebt sich in allen Versuchen. Dagegen ist in den meisten Kurven auch eine nicht osmotische Komponente deutlich daran zu erkennen, daß die Ablesungen in den höheren Salzkonzentrationen beträchtlich höher ausfallen als einer reinen seitlichen Parallelverschiebung der Kurven entsprechen würde, wie man sie bei ausschließlich osmotisch bedingten Hämolysen beobachtet.

Der in der gleichen Zeit erreichte Schwellungsgrad ist bei den verschiedenen Blutarten jedoch nicht gleich, sondern die Schwellungsgeschwindigkeit nimmt ab in der Reihe, Schaf, > Mensch, > Rind, > Schwein, > Kaninchen, > Ratte, > Hund. Für Versuche über Röntgenhämolyse eignet sich also Schaf- und Menschenblut am besten. Daß Schafblut noch etwas empfindlicher ist als Menschenblut, hat auch Kalbermatten schon beobachtet.

4. Einfluß der Temperatur

Der Einfluß der Temperatur wurde nur in der Weise untersucht, daß die Temperatur während der Nachperiode variiert wurde. Versuche mit verschiedenen Bestrahlungstemperaturen wurden bisher nicht durchgeführt. Der Temperatureinfluß wurde ursprünglich in der Hoffnung untersucht, auf Grund verschiedener Temperaturabhängigkeit der osmotischen und der nichtosmotischen Komponente der Hämolyse diese beiden Anteile bis zu einem gewissen Grade trennen zu können.

Bezüglich der Temperaturabhängigkeit der osmotischen Komponente war zu erwarten, daß die osmotische Schwellung mit steigender Temperatur beschleunigt würde. Das Eindringen von Molekülen oder Ionen in Zellen wird allgemein mit steigender Temperatur schneller und die Temperaturkoeffizienten der Permeabilität sind nach neueren Untersuchungen häufig recht hoch. So haben die Untersuchungen von Jacobs, Glassman und Parpart für die Permeabilität der roten Blutkörperchen für organische Moleküle Temperaturkoeffizienten bis zu 3,8 ergeben, und Versuche von Wartiovaara an Pflanzenzellen ergaben noch höhere Werte, bis zu Q 10=8,9.

Das erwartete Verhalten wurde jedoch überraschenderweise nur bei höheren Temperaturen gefunden. Abb. 4 zeigt, daß bei Ansteigen der Temperatur von 20° auf 37° die Schwellungsgeschwindigkeit wie erwartet zunimmt, daß dagegen bei Temperaturen unter 20° keine Abnahme beobachtet wird, sondern im Gegenteil eine Zunahme, die so stark ist, daß die Schwellung bei 5° schneller erfolgt als bei 37°. Dieser auffallende Befund bestätigte sich in mehreren Versuchsreihen.

Die Deutung dieser Beobachtung macht die Annahme notwendig, daß die Membranstruktur bei abnehmender Temperatur sich im Sinne zunehmender Kationenpermeabilität verändert. Bei konstanter Membranstruktur könnte die Abnahme der Temperatur nur zu einer Verzögerung des Eindringens der Ionen führen. Nun hat Kalbermatten gezeigt, daß die Wirkung der Bestrahlung sich noch weit in die Nachperiode fortsetzt und daß insbesondere die stärkere Permeabilitätsänderung bei Anwesenheit gewisser wirksamer

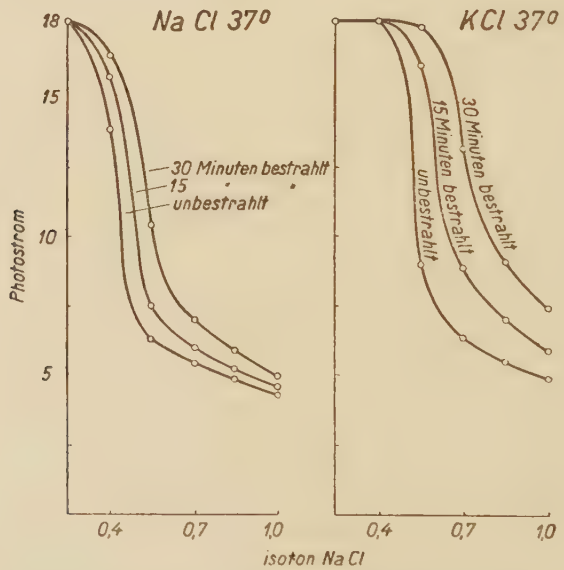

Abb. 4: Einfluß der Temperatur auf die Röntgenhämolyse Menschenblut. Resistenz 24 Stunden nach Bestrahlung. Nachperiode bei 5°, 20°, 37°. Bestrahlungszeit 0', 15', 30'.

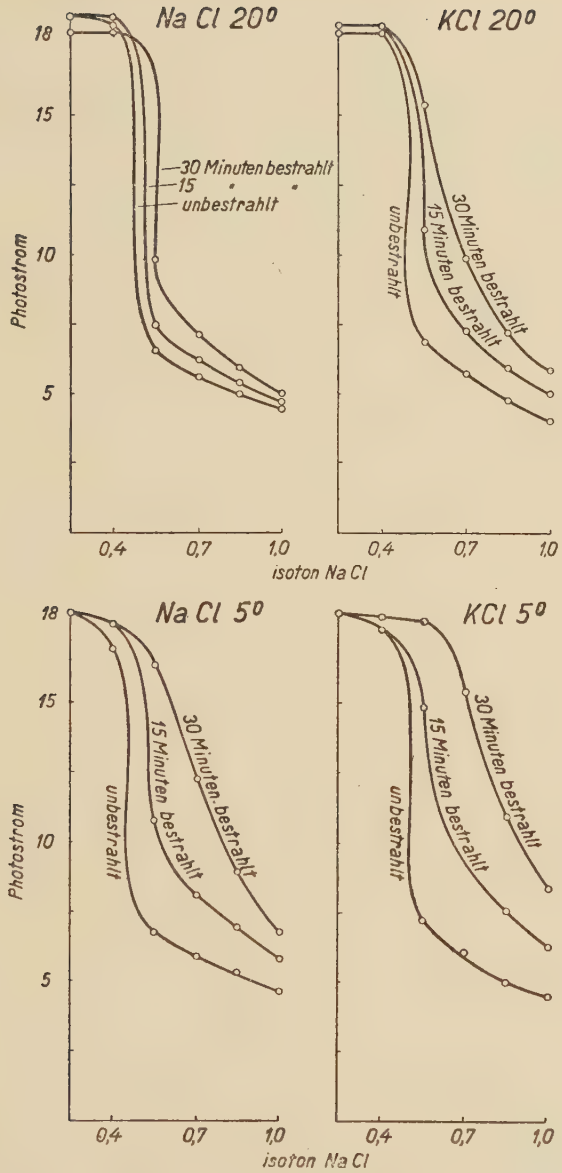

Abb. 4: Einfluß der Temperatur auf die Röntgenhämolyse Menschenblut. Resistenz 24 Stunden nach Bestrahlung. Nachperiode bei 5°, 20°, 37°. Bestrahlungszeit 0', 15', 30'.

Anionen sich erst während der Nachperiode entwickelt. Es liegt daher die Annahme nahe, daß diese nachträgliche Aenderung der Membranpermeabilität durch die tiefe Temperatur begünstigt wird.

Dafür spricht vor allem folgende Beobachtung. Schon Kalbermatten hat gefunden, daß diejenigen Anionen, die die Röntgenstrahlenwirkung besonders begünstigen (Rhodanid und Nitrat) auch ohne Bestrahlung bereits eine Wirkung auf die Blutkörperchenpermeabilität ausüben, die in der gleichen Richtung liegt wie der Bestrahlungseffekt. Er schloß daraus, daß es sich bei der besonders raschen Röntgenhämolyse in Nitrat- und Rhodanidsuspensionen um eine kombinierte Wirkung von Bestrahlung und Anionen handelt. Untersucht man nun die spontane Permeabilitätsänderung unbestrahlter Zellen in Rhodanidsuspension bei verschiedenen Temperaturen, so zeigt sich auch hier dieselbe eigenartige Temperaturabhängigkeit wie bei bestrahlten Zellen. Abb. 5 zeigt solche Versuche. Diese Beobachtung ist zunächst ein weiterer Hinweis für die Richtigkeit der Annahme von Kalbermatten, daß Anionen und Bestrahlung gleichsinnig wirken. Sie spricht aber außerdem auch für die hier geäußerte Vermutung, daß der Temperatureinfluß sich auf die sekundäre Entwicklung der Kationenpermeabilität bzw. auf die ihr zugrunde liegende Membranänderung bezieht.

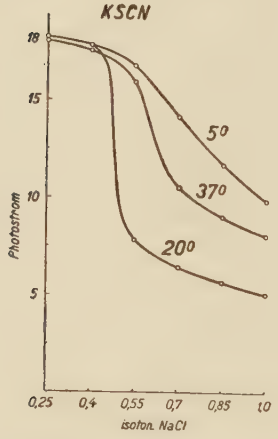

Abb. 5: Einfluß der Temperatur auf die spontane Hämolyse unbestrahlten Blutes in KSCN-Lösung. Menschenblut, Resistenz 24 Stunden nach der Bestrahlung, Nachperiode bei 5°, 20°, 37°. Bestrahlungszeit 30'.

Die Deutung der Wirkung niedriger Temperaturen ist vermutlich die, daß die Anionen, um ihre Wirkung auf die Membran auszuüben, adsorptiv fixiert werden müssen. Für Adsorptionsvorgänge ist bekannt, daß sie häufig durch abnehmende Temperatur begünstigt werden. Diese Wirkung beruht darauf, daß die Adsorption ein Gleichgewicht darstellt, bei dem die kinetische Energie der adsorbierten Moleküle verschiedener anderer Energieformen, die die Fixierung begünstigen, entgegenwirkt, so daß fallende Temperatur, d. h. Abnahme der kinetischen Energie die Adsorption begünstigt.

Die Wirkung der adsorbierten Anionen an der Membran ist vermutlich die einer Eiweißdenaturierung. Es ist be-

kannt, daß Rhodanid in höheren Konzentrationen eiweißdenaturierend wirkt. Die geringere Salzkonzentration in den hier mitgeteilten Versuchen wird wahrscheinlich kompensiert durch die langen Versuchszeiten. Die Annahme einer Eiweißdenaturierung ist auch deshalb plausibel, weil sie den Synergismus der Rhodanidwirkung mit der Bestrahlungswirkung verständlich macht, da eine eiweißdenaturierende Wirkung von Röntgenstrahlen seit langem bekannt ist.

5. Versuche mit gewaschenen Blutkörperchen

Die Frage, ob natives Blut und gewaschene Erythrozyten verschieden auf Röntgenbestrahlung reagieren, wurde hauptsächlich im Hinblick auf die Diskrepanz zwischen Holthusens Ergebnissen und unseren Versuchen in quantitativer Hinsicht geprüft. Holthusen berichtete über sehr viel schnellere Hämolysen, als wir sie jemals beobachten konnten. Da er mit gewaschenem Blut arbeitete, sollte

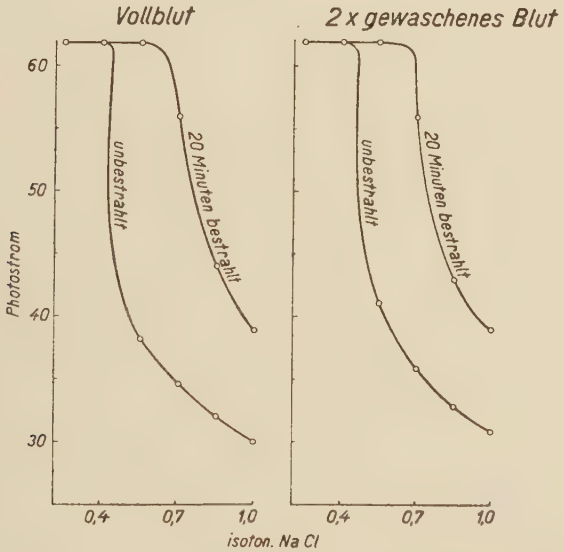

Abb. 6: Röntgenhämolyse des Nativblutes und gewaschenen Blutes. Menschenblut, Resistenz 24 Stunden nach der Bestrahlung. Nachperiode bei 20°. Bestrahlungszeit 0', 20'.

die Frage geprüft werden, ob die Waschung des Blutes mit Kochsalzlösung die Reaktion auf Röntgenbestrahlung wesentlich beeinflußt. Die Versuche, die in Abb. 6 wiedergegeben sind, zeigen jedoch, daß Blut, das zwei Mal mit Kochsalzlösung gewaschen wurde, ungefähr gleich stark reagiert wie natives Blut. Serumanwesenheit während der Röntgenbestrahlung ist also ohne starken Einfluß auf die Bestrahlungswirkung. Auch die stärkere Wirkung, über die Holthusen berichtete, kann nicht darauf zurückgeführt werden, daß er mit gewaschenem Blut arbeitete.

6. Alter des Blutes

Aufbewahrung des Blutes im Eisschrank während einiger Tage verändert die Reaktion auf Röntgenbestrahlung nicht in ausgeprägter Weise. Abb. 7 zeigt Bestrahlungsversuche mit dem gleichen

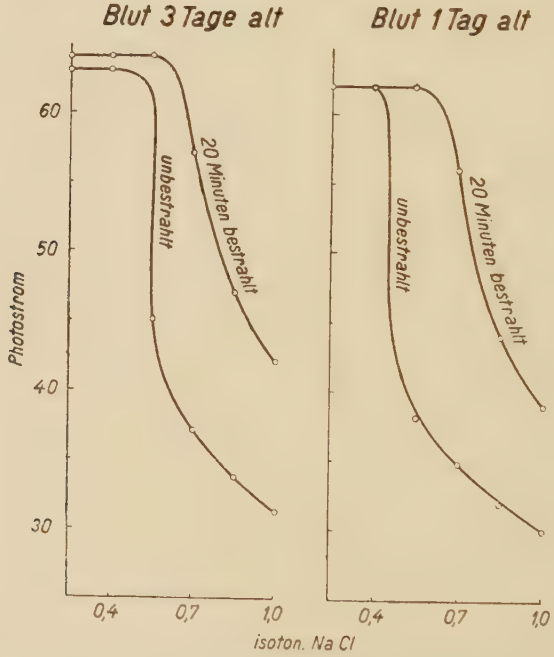

Abb. 7: Röntgenhämolyse am gleichen Blut ein und drei Tage nach der Blutentnahme. Menschenblut, Resistenz 24 Stunden nach der Bestrahlung. Bestrahlungszeit 0′ und 20′.

Blut ein und drei Tage nach der Blutentnahme. Die Wirkung der Bestrahlung ist etwa gleich stark. Erst wenn das Blut spontan bereits beginnende Hämolyse zeigt, erhält man eine stärkere osmotische Schwellung nach Bestrahlung.

7. *Holthusens Versuche*

Da weder die Untersuchung der Artunterschiede noch die Versuche mit gewaschenem Blut die stärkeren Hämolysen von Holthusen erklären konnten, haben wir eine Reihe von Versuchen genau nach den von Holthusen beschriebenen ausgeführt (Einschmelzen außerordentlich stark verdünnter Blutsuspensionen in Glasampullen). Dabei ergab sich das in Tabelle I wiedergegebene Verhalten. Es wurden Blutsuspensionen in Kaliumrhodanid, Kaliumchlorid und Natriumchlorid untersucht.

Tabelle I

	KSCN		KCL		Na Cl	
Stunden	bestrahlt	unbestrahlt	bestrahlt	unbestrahlt	bestrahlt	unbestrahlt
0 Std.	—	—	—	—	—	—
1 Std.	—	—	—	—	—	—
4 Std.	fast vollst. hämolys.	—	ein wenig hämolys.	—	—	—
15 Std.	vollst. hämolys.	fast vollst. hämolys.	vollst. hämolys.	—	fast vollst. hämolys.	—

Der Bestrahlungseffekt bei dieser Versuchsanordnung war in der Tat beträchtlich stärker als in unsern sonstigen Versuchen. Vollständige Hämolyse nach 15 Stunden haben wir sonst nie beobachtet. Es zeigte sich aber weiter, daß die Ergebnisse bei diesem Vorgehen außerordentlich unregelmäßig sind. In einem andern Versuch mit Kaliumrhodanid wurde beim unbestrahlten Blut bereits 3 Minuten nach dem Einschmelzen vollständige Hämolyse beobachtet. Es sei hier auch darauf aufmerksam gemacht, daß in den Holthusenschen Protokollen Kontrollversuche mit unbestrahltem Blut fehlen. Die Deutung des stärkern Bestrahlungseffektes sowohl, als der Unregelmäßigkeit der Ergebnisse bei den Versuchen nach dem Holthusenschen Vorgehen kann vielleicht daran liegen, daß die außerordentlich verdünnten Blutsuspensionen sehr stark an Pufferkapazität eingebüßt haben, und daß die Glasampullen meist

aus besonders weichem, alkalireichem Glas hergestellt sind, so daß es in den Ampullen leicht zu beträchtlichen Aenderungen des pH kommen kann. Schon eine Verschiebung des pH von 5,8 auf 7,8 beschleunigt nach den oben mitgeteilten Versuchen die osmotische Hämolyse beträchtlich, und diese Beschleunigung wird sich vermutlich in noch stärker alkalischeren Gebieten noch wesentlich verstärken. Die Langsamkeit, mit der in unsern Versuchen die Röntgenhämolyse einsetzt, stimmt auch überein mit neuerdings von Ting und Zirkle mitgeteilten Versuchen. Diese Autoren fanden in Uebereinstimmung mit Burgener, daß die Röntgenhämolyse osmotisch zustande kam, was sie mit Haematokritmessung nachwiesen. Auch in ihren Versuchen betrugen die Hämolysezeiten viele Stunden.

8. Die wirksame Minimaldosis

Um die kleinste Strahlendosis zu bestimmen, mit der eine Ionenpermeabilitätsänderung der Erythrozytenmembran eben noch ausgelöst werden kann, wurde eine Reihe von Blutproben 2", 8", 16" ... 32' bestrahlt, nach der Bestrahlung in isotonische Na Cl- beziehungsweise KCl-Lösung suspendiert und bei 5° Celsius über

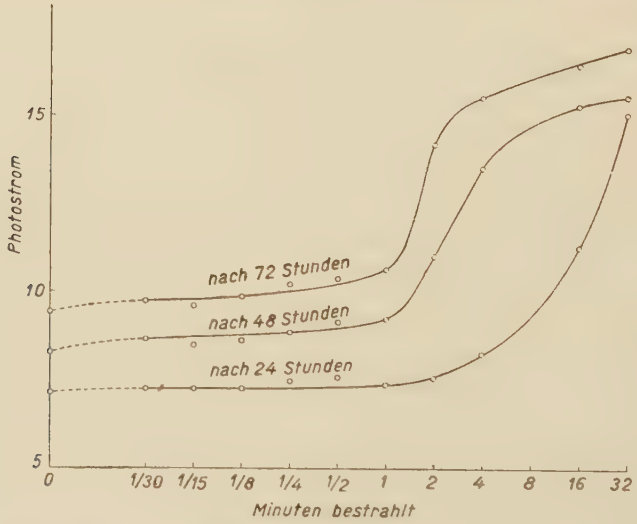

Abb. 8: Bestimmung der Minimaldosis, Menschenblut, Bestrahlungszeit 2"—32', Resistenz nach 24, 48, 72 Stunden.

48 Stunden verfolgt. Dabei wurden nicht ganze Resistenzreihen aufgenommen, sondern jeweils nur der Hämolysegrad in einer Salzkonzentration verfolgt. Es wurde dafür eine Konzentration gewählt, die im steilen Gebiet der Resistenzkurve liegt. Abb. 8 zeigt die Ablesungen in dieser Konzentration nach 24, 48 und 72 Stunden für die verschiedenen Suspensionen. Aus den Kurven ergibt sich, daß die kürzeste Bestrahlungszeit, die einen deutlichen Unterschied gegenüber der unbestrahlten Kontrolle zeigt, bei 2 Minuten liegt. Das entspricht einer Strahlendosis von 8000 r.

Zusammenfassung

1. Die von Burgener und Kalbermatten begonnene Analyse der Röntgenhämolyse wurde fortgesetzt. Die von Burgener nachgewiesene osmotische Natur der Hämolyse wird weiter gestützt durch den Nachweis, daß die Geschwindigkeit der Hämolyse in Salzlösungen mit verschiedenen einwertigen Kationen der Diffusionsgeschwindigkeit der Ionen parallel geht. Bei zweiwertigen Kationen wird das Verhalten dadurch kompliziert, daß die Ionen auch auf die Permeabilität der Membran einwirken.

2. Die Röntgenhämolyse wird durch alkalische Reaktion begünstigt.

3. Die Empfindlichkeit verschiedener Blutarten gegenüber der Röntgenbestrahlung stuft sich ab nach der Reihenfolge Schaf, > Mensch, > Rind, > Schwein, > Kaninchen, > Ratte, > Hund.

4. Die Temperatur während der Nachperiode beeinflußt die Hämolyse folgendermaßen: Erhöhung der Temperatur von 20^0 auf 37^0 beschleunigt, wie zu erwarten; eine noch größere Beschleunigung ergibt sich jedoch entgegen der Erwartung beim Uebergang von 20^0 auf 5^0 C.

5. Dieselbe Temperaturabhängigkeit findet sich auch bei der Spontanhämolyse unbestrahlten Blutes in Rhodanidlösung. Sie wird gedeutet durch Annahme einer für die Permeabilitätsänderung erforderlichen Adsorption aus der Zellmembran. Es werden Gründe diskutiert, die dafür sprechen, daß die Wirkung der adsorbierten Anionen auf die Membran auf einer Eiweißdenaturierung besteht.

6. Natives und gewaschenes Blut zeigt keinen wesentlichen Unterschied in der Empfindlichkeit gegen Röntgenbestrahlung. Auch das Alter des Blutes bis zu einigen Tagen ist nicht von großem Einfluß.

7. Die quantitativen Unterschiede der beobachteten Hämolysegeschwindigkeit gegenüber Holthusens Befunden werden diskutiert.

8. Die Minimaldosis, durch die eine mit den bisher angewandten Methoden eben noch nachweisbare Ionenpermeabilitätsänderung erzielt werden kann, beträgt etwa 8000 r.

Literaturangaben

Hausmann: Strahlentherapie 9, 46 (1919).
Holthusen: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen 29, 777 (1922).
M. H. Jacobs: Proc. Am. Pylos. Soc. 120, 363 (1931).
H. N. Glassmann und A. K. Parpart: J. Cell. Comp. Physiol., 7, 197 (1935/36).
Lehmann u. Wells: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 213, 620 (1926).
E. Ponder: Bioch. J. 24, 805—814 (1930).
Ting u. Zirkle: J. Cell. Comp. Physiol. 16, 269 (1940).
V. Wartiovaara: Bioch. Zs. 7, 302, 277—279 (1939).
W. Wilbrandt: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 241, 281 (1938).